

## JP2003051809

Publication Title:

WAVELENGTH MULTIPLEX OPTICAL TRANSMISSION SYSTEM AND TRANSMISSION METHOD

Abstract:

Abstract of JP 2003051809

(A) PROBLEM TO BE SOLVED: To provide a wavelength multiplex optical transmission system and a transmission method with an excellent band utilization efficiency. SOLUTION: The wavelength multiplex optical transmission system is provided with an optical transmitter 1-1 that generates N optical signal waves modulated with an optical frequency interval  $\Delta f$  [Hz] at a modulation speed B [bit/s] (where  $B/\Delta f \leq 1$  [bit/s/Hz]), wavelength synthesizers 1-3a, b that synthesize them, an asymmetrical Mach-Zehnder interferometer element 1-6 whose optical path length difference is  $c/(2n_c \Delta f)$  (where c is the velocity of light and  $n_c$  is an equivalent refractive index of a guide path) incorporating a phase shifter 1-7, wavelength branching devices 1-8a, b that selectively transmit an optical signal with a desired wavelength,; an optical time gate switch 1-9 that extracts a signal for a time from  $1/(2\Delta f)$  [s] to T [s] (where T is a one-bit time) in the unit of bits, and a bit phase adjustment means 1-2 that matches bit phases of wavelength signals at the input of asymmetrical Mach-Zehnder interferometer element 1-6.

-----

Courtesy of <http://v3.espacenet.com>

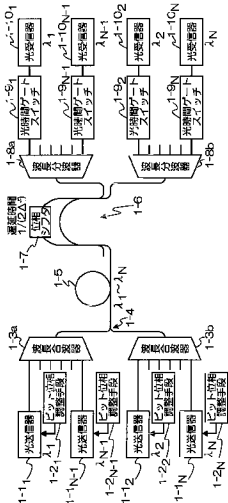
(51)Int.Cl. <sup>7</sup>	識別記号	F I	デマコト* (参考)
H 0 4 J 14/00		G 0 2 F 2/00	2 K 0 0 2
G 0 2 F 2/00		H 0 4 B 9/00	E 5 K 0 0 2
H 0 4 B 10/00			B
H 0 4 J 14/02			

審査請求 未請求 請求項の数9 O L (全 6 頁)

(21)出願番号	特願2001-238077(P2001-238077)	(71)出願人	000004226 日本電信電話株式会社 東京都千代田区大手町二丁目3番1号
(22)出願日	平成13年8月6日(2001.8.6)	(72)発明者	山田 英一 東京都千代田区大手町二丁目3番1号 日 本電信電話株式会社内
		(73)発明者	吉國 裕三 東京都千代田区大手町二丁目3番1号 日 本電信電話株式会社内
		(74)代理人	100064908 弁理士 志賀 正武 (外2名)
		最終頁に続く	

(54)【発明の名称】 波長多重光伝送方式及び伝送方法

(57)【要約】  
【課題】帯域利用効率が良い波長多重光伝送方式及び伝送方法を提供する。  
【解決手段】光周波数間隔 $\Delta f$  [Hz]、変調速度 $B$  [bit/s] (但し、 $B/\Delta f \leq 1$  [bit/s/Hz]) で変調した $N$ 波の光信号を発生する光送信器1-1と、それを合波する波長合波器1-3a、bと、位相シフタ1-7を内蔵し、光路長差が $c/(2n_c\Delta f)$  ( $c$ は光速、 $n_c$ は導波路の等価屈折率)の非対称マッハツェンダ型干渉素子1-6と、所望の波長を選択透過する波長分波器1-8a、bと、ビット単位で、 $1/(2\Delta f)$  [s] から $T$  [s] (但し、 $T$ は1ビットの時間) までの間の時間の信号を取り出す光時間ゲートスイッチ1-9と、非対称マッハツェンダ型干渉素子1-6の入力における各波長信号のビット位相を一致させるためのビット位相調整手段1-2とを備えている。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 変調素子により光周波数間隔 $\Delta f$  [Hz]、変調速度 $B$  [bit/s] (但し、 $B/\Delta f \leq 1$  [bit/s/Hz]) で変調した $N$ 波 ( $N$ は2以上の整数) の光信号を発生し、該光信号を合波する手段からなる光送信部と、前記光送信部からの送信信号を入力するものであって、光路長差が $c/(2n_g\Delta f)$  (ここで、 $c$ は光速、 $n_g$ は導波路の等価屈折率) の非対称マッハツェンダ型干渉素子と、前記非対称マッハツェンダ型干渉素子の出力信号から所望の波長を選択透過する波長フィルタ手段と、ビット単位で、 $1/(2\Delta f)$  [s] から $T$  [s] (但し、 $T$ は1ビットの時間) までの間の時間の信号を取り出す時間ゲート手段とからなる光受信部と、前記非対称マッハツェンダ型干渉素子の入力における各波長信号のビット位相を一致させるためのビット位相調整手段とを備えたことを特徴とする波長多重光伝送方式。

【請求項2】 前記ビット位相調整手段は、前記光送信部における変調素子への電氣的変調信号のビット位相を制御するものであることを特徴とする請求項1に記載の波長多重光伝送方式。

【請求項3】 前記ビット位相調整手段は、前記光送信部から光受信部の間に配置された光伝送経路において、光信号の光路長を制御するものであることを特徴とする請求項1に記載の波長多重光伝送方式。

【請求項4】 前記時間ゲート手段は光ゲートスイッチであることを特徴とする請求項1に記載の波長多重光伝送方式。

【請求項5】 前記時間ゲート手段は光受信部における電氣ゲート回路であることを特徴とする請求項1に記載の波長多重光伝送方式。

【請求項6】 前記光送信部における合波のための手段が、光周波数間隔 $\Delta f$ の $N$ 波の光信号に関して、奇数番目の光信号を合波する第1の波長合波手段と、偶数番目の光信号を合波する第2の波長合波手段とからなることを特徴とする請求項1～5のいずれかに記載の波長多重光伝送方式。

【請求項7】 前記非対称マッハツェンダ型素子は、位相シフトを内蔵することを特徴とする請求項1～6のいずれかに記載の波長多重光伝送方式。

【請求項8】 前記位相シフトが、奇数番目又は偶数番目の何れかの信号光波長と前記非対称マッハツェンダ型干渉素子の透過スペクトルのピークとが対応するように位相シフトを調整することを特徴とする請求項7に記載の波長多重光伝送方式。

【請求項9】 変調素子により光周波数間隔 $\Delta f$  [Hz]、変調速度 $B$  [bit/s] (但し、 $B/\Delta f \leq 1$  [bit/s/Hz]) で変調した $N$ 波 ( $N$ は2以上の

整数) の光信号を発生し、該光信号を合波して送信し、各波長信号のビット位相が一致するようにビット位相の調整を行うとともに、その送信された信号を、光路長差が $c/(2n_g\Delta f)$  (ここで、 $c$ は光速、 $n_g$ は導波路の等価屈折率) の非対称マッハツェンダ型干渉素子に入力し、前記非対称マッハツェンダ型干渉素子の出力から所望の波長を選択し、その選択した信号において、ビット単位で、 $1/(2\Delta f)$  [s] から $T$  [s] (但し、 $T$ は1ビットの時間) までの間の時間の信号を取り出して出力することとを特徴とする波長多重光伝送方法。

## 【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は光通信分野における波長多重光伝送方式及び伝送方法に関する。

【0002】

【従来の技術】従来、光通信の伝送容量を増大させるために、多数の波長を用いて信号を伝送する波長多重光伝送方式が用いられている。

【0003】図6は従来の波長多重光伝送方式の構成図である。送信部では、波長 (= 光周波数) の異なる複数の光送信器1-1の信号を波長合波器1-3により合波する。合波された多数の光信号は、1つの光伝送媒体1-5を共用して伝送される。受信部では波長分波器1-8により、波長ごとに分波され、各波長の光信号は光受信器1-10で受信される。以上のような構成で波長分割多重光伝送方式が実現されていた。

【0004】光の波長域の有効利用の点から、光の波長間隔を近接させる高密度な波長多重伝送が望まれる。光周波数間隔を $\Delta f$  [Hz]、伝送速度を $B$  [bit/s] とすると $B/\Delta f$  [bit/s/Hz] を帯域利用効率 (Spectral Efficiency) という。両側帯波のON/OFF変調方式の帯域利用効率の理論限界は1 [bit/s/Hz] である。

【0005】従来の波長多重伝送方式では、受信部ではアレイ導波路型回折格子などの波長分波器を用いた波長選択フィルタで所望の信号光を取り出していた。しかしながら、高密度で多数の信号を伝送しようすると、隣り合う波長の信号と重なり合うため、波長選択フィルタでは所望の信号の検出ができないという問題点があった。隣接周波数との干渉を防ぐため波長間隔を広げると帯域利用効率は低下し、従来の波長多重伝送方式では帯域利用効率は通常0.4 [bit/s/Hz] 程度以下であった。

【0006】

【発明が解決しようとする課題】高密度で多数の信号を伝送しようすると、隣り合う波長の信号が重なり合うため従来の波長多重伝送方式で用いる波長選択フィルタでは信号の分離ができないという問題点があった。一

方、波長間隔を広げると従来の波長多重伝送方式は帯域利用効率が悪いという課題があった。本発明の目的は帯域利用効率が良い波長多重光伝送方式及び伝送方法を提供することにある。

【0007】

【課題を解決するための手段】本発明の波長多重伝送方式は、変調素子により光周波数間隔 $\Delta f$  [Hz]、変調速度 $B$  [bit/s] (但し、 $B/\Delta f \leq 1$  [bit/s/Hz]) で変調した $N$ 波 ( $N$ は2以上の整数) の光信号を発生し、該光信号を合波する手段からなる光送信部と、前記光送信部からの送信信号を入力するものであって、位相シフトを内蔵し、光路長差が $c/(2n_c \Delta f)$  (ここで、 $c$ は光速、 $n_c$ は導波路の等価屈折率) の非対称マッハツェンダ型干渉素子と、前記非対称マッハツェンダ型干渉素子の出力信号から所望の波長を選択透過する波長フィルタ手段と、ビット単位で、 $1/(2\Delta f)$  [s] から $T$  [s] (但し、 $T$ は1ビットの時間) までの間の時間の信号を取り出す時間ゲート手段とからなる光受信部と、前記非対称マッハツェンダ型干渉素子の入力における各波長信号のビット位相を一致させるためのビット位相調整手段とを備えたことを特徴とする。

【0008】また、請求項2の発明においては、前記ビット位相調整手段は、前記光送信部における変調素子への電氣的変調信号のビット位相を制御するものであることを特徴とする。前記ビット位相調整手段は、前記光送信部から光受信部の間に配置された光伝送経路において、光信号の光路長を制御するものであることを特徴とする。前記時間ゲート手段は光ゲートスイッチであることを特徴とする。前記時間ゲート手段は光受信部における電気ゲート回路であることを特徴とする。

【0009】また、請求項6の発明においては、前記光送信部における合波のための手段が、光周波数間隔 $\Delta f$  の $N$ 波の光信号に関して、奇数番目の光信号を合波する第1の波長合波手段と、偶数番目の光信号を合波する第2の波長合波手段とからなることを特徴とする。請求項7の発明においては、非対称マッハツェンダ型素子は、位相シフトを内蔵することを特徴とする。さらに、前記位相シフトが、奇数番目又は偶数番目の何れかの信号光波長と前記非対称マッハツェンダ型干渉素子の透過スペクトルのピークとが対応するように位相シフトを調整することを特徴とする。

【0010】また、本発明の波長多重光伝送方法は、変調素子により光周波数間隔 $\Delta f$  [Hz]、変調速度 $B$  [bit/s] (但し、 $B/\Delta f \leq 1$  [bit/s/Hz]) で変調した $N$ 波 ( $N$ は2以上の整数) の光信号を発生し、該光信号を合波して送信し、各波長信号のビット位相が一致するようにビット位相の調整を行うとともに、その送信された信号を、光路長差が $c/(2n_c \Delta f)$  (ここで、 $c$ は光速、 $n_c$ は導波路の等価屈折率)

の非対称マッハツェンダ型干渉素子に入力し、前記非対称マッハツェンダ型干渉素子の出力から所望の波長を選択し、その選択した信号において、ビット単位で、 $1/(2\Delta f)$  [s] から $T$  [s] (但し、 $T$ は1ビットの時間) までの間の時間の信号を取り出して出力すること

を特徴とする。

【0011】

【発明の実施の形態】以下、図面を参照して本発明の実施の形態について説明する。図1に本発明の実施の形態を示す。

【0012】送信部において、光周波数間隔 $\Delta f$  [Hz] で並ぶ $N$ 個 ( $N$ は2以上の整数、ただし参照符号の付け方を簡単にするため本実施の形態では $N$ は偶数であるとする。) の光送信器 $1-1_1 \sim 1-1_N$ はそれぞれ波長 $\lambda_1 \sim \lambda_N$ の光信号を変調速度 $B$  [bit/s] で変調しており、帯域利用効率 $B/\Delta f$  [bit/s/Hz] が1以下且つ1に近い値になるように変調速度が設定されている。変調方式は、ON/OFF変調方式であるとする。

【0013】光送信器 $1-1_1 \sim 1-1_N$ は電氣的なビット位相調整手段 $1-2_1 \sim 1-2_N$ によって光送信器 $1-1_1 \sim 1-1_N$ における変調素子への電氣的変調信号のビット位相を制御できるようになっており、ある一つのビットに注目して信号処理ができるように、受信部のマッハツェンダ型干渉素子1-6の入力端において全波長の信号のビット位相が一致するように電氣的信号のビット位相を調整する。あるいは、ビット位相調整手段として、光送信器 $1-1_1 \sim 1-1_N$ と波長合波器 $1-3a$ 、 $1-3b$ との間に可変遅延導波路など光学的なビット位相調整手段を設け、光路長を調整して、受信部のマッハツェンダ型干渉素子1-6の入力端における全波長の信号のビット位相を一致させても良い。

【0014】本発明では、帯域利用効率 $B/\Delta f$  [bit/s/Hz] を1以下且つ1に近い値になるように設定しているので、信号帯域と同程度に波長間隔が狭くなる。そのため、送信部で従来例のような波長合波器を用いて合波すると、波長合波の際に信号成分が削られてしまう。したがって、それを避けるために、本実施の形態では、波長合波器を用いて合波する場合は、光周波数間隔 $2\Delta f$  で並ぶ奇数チャンネルの複数の光信号 (光信号波長 $\lambda_1, \lambda_3, \lambda_5, \dots, \lambda_{N-1}$ の光信号) を光周波数間隔 $2\Delta f$  の波長合波器 $1-3a$ により合波し、また偶数チャンネルの複数の光信号 (光信号波長 $\lambda_2, \lambda_4, \lambda_6, \dots, \lambda_N$ の光信号) を光周波数間隔 $2\Delta f$  の別の波長合波器 $1-3b$ により合波し、2つの波長合波器の出力を1:1カップラ1-4等により合波する。波長合波器 $1-3a$ 、 $1-3b$ の光周波数間隔 $2\Delta f$  は信号帯域より広いため、信号成分が削られて情報が失われることは無い。波長合波器 $1-3a$ 、 $1-3b$ を用いず、多モード干渉型光素子などの $N \times 1$ 合波素子ないしは1:1

カップラの多段接続などを用いて合波しても良い。

【0015】以上のようにして送信部において合波された波長多重信号は一つの光伝送媒体1-5を共用して伝送される。

【0016】波長多重信号は光伝送媒体1-5を伝送された後、受信部において、光路長差が $c/(2n_c\Delta f)$ （ここで、 $c$ は光速、 $n_c$ は導波路の等価屈折率）の非対称マッハツェンダ型干渉素子1-6に入力される。ここで、各信号は、一方の光路で時間 $1/(2\Delta f)$ だけ遅延されるとともに、他方の遅延されない信号と合波され、奇数チャンネル用の信号と偶数チャンネル用の信号に分岐される。このとき、奇数チャンネルと偶数チャンネルの何れかの信号光波長とマッハツェンダ型干渉素子1-6の透過スペクトルのピークを一致させるように、位相シフト1-7を調整する。このとき、導波路の等価屈折率の波長依存性が小さいとすると、奇数チャンネル用の信号出力端子においては、全ての奇数チャンネルの信号光波長とマッハツェンダ型干渉素子1-6の透過スペクトルのピークが一致し、また、偶数チャンネル用の信号出力端子においては、全ての偶数チャンネル信号光波長とマッハツェンダ型干渉素子の1-6の透過スペクトルのピークが一致することになる。また、非対称マッハツェンダ型干渉素子1-6が半導体、ガラス、誘電体等の光導波路で構成されている場合には、非対称マッハツェンダ型干渉素子1-6の光路長差は温度依存性が有ることが知られている。非対称マッハツェンダ型干渉素子1-6の光路長差は温度依存性が有る場合には、奇数チャンネル又は偶数チャンネルの何れかの信号光波長とマッハツェンダ型干渉素子1-6の透過スペクトルのピークを一致させるように、マッハツェンダ型干渉素子1-6の温度を制御しても良い。この場合は、位相シフト1-7は不要である。さらに、マッハツェンダ型干渉素子1-6の寸法の製造精度が十分である場合には、奇数チャンネル又は偶数チャンネルの何れかの信号光波長とマッハツェンダ型干渉素子1-6の透過スペクトルのピークを一致させるように精密に光路長差を制御して位相シフト1-7を不要としても良い。

【0017】奇数チャンネル用の信号は、光周波数間隔 $2\Delta f$ の奇数チャンネル用の波長分波器1-8aにより各波長に分離される。波長分波器1-8a（または波長分波器1-8b）は、非対称マッハツェンダ型干渉素子1-6の出力信号から所望の奇数チャンネル（または偶数チャンネル）の波長を選択透過する波長フィルタによって構成されている。奇数チャンネルだけについて考えると、波長分波器1-8aの光周波数間隔 $2\Delta f$ は信号帯域より広いため、所望の信号成分が削られて情報が失われることはなく、また、波長分波器1-8aの特性により所望以外の奇数チャンネルの信号は取り除かれる。

【0018】さらに、出力された各端子から、光時間ゲートスイッチを用いた時間ゲート1-9<sub>1</sub>～1-9<sub>N</sub>によ

って、遅延の少ない方の信号を基準として $1/(2\Delta f)$ ～ $T$ （但し、 $T$ は1ビットの時間）の時間に於ける信号を取り出す。

【0019】非対称マッハツェンダ型干渉素子1-6と時間ゲート1-9<sub>1</sub>、1-9<sub>3</sub>、…、1-9<sub>N-1</sub>によって、奇数チャンネルの出力において偶数チャンネルの信号成分は全て打ち消しあう（この動作の詳細は後ほど説明する。）。そのため、波長分波器1-8aとの組み合わせにより、奇数チャンネルのただ一つの波長の信号のみが取り出される。

【0020】偶数チャンネル用光分波器1-8bに入力された信号も奇数チャンネルと同様にして、波長分離される。

【0021】各波長に分離された信号は、各波長 $\lambda_1 \sim \lambda_N$ の光信号に対する光受信器1-10<sub>1</sub>～1-10<sub>N</sub>により受信され、こうして高密度な波長多重光伝送が実現される。

【0022】図1では、時間ゲートとして光時間ゲートスイッチを用いているが、光時間ゲートスイッチとして、具体的には、電界吸収型変調器やマッハツェンダ型強度変調器をスイッチとして用いたものや非線形光学効果を用いた光スイッチなどが用いられる。あるいは、時間ゲートとしては、光受信回路で電気信号に変換した後、識別回路の識別タイミングを調整して、時間ゲートとして特定の時間の電圧を検出する方法など、電氣的な時間ゲート回路も有りうる。

【0023】以下図2をもって、非対称マッハツェンダ型干渉素子1-6と時間ゲート1-9<sub>1</sub>～1-9<sub>N</sub>の動作を説明する。ある一つのビットの信号に注目すると、図のように、非対称マッハツェンダ型干渉素子により遅延の無い信号（a）と遅延導波路により $1/(2\Delta f)$ だけ遅延された信号（b）は合波され、非対称マッハツェンダ型干渉素子の出力信号（c）となる。図より、 $1/(2\Delta f) \sim T$ の時間部分のみが、そのビットの信号の干渉信号になっていることがわかる。したがって、幅 $T - 1/(2\Delta f)$ の時間ゲートスイッチにより $1/(2\Delta f) \sim T$ の時間の信号を取り出すことにより、そのビットの信号の干渉信号成分のみを取り出すことができる。

【0024】奇数チャンネル信号光波長とマッハツェンダ型干渉素子1-6の透過スペクトルのピークを一致させるように位相シフト1-7を調整しているものとする。奇数チャンネルの信号光波長は位相が一致し、強めあうように干渉している。一方、 $\Delta f$ だけ離れた偶数チャンネルの信号光波長は光路長差 $c/(2n_c\Delta f)$ によって $\pi$ だけ位相がずれるから、打ち消しあうように干渉する。したがって、干渉信号成分においては打ち消しあって、偶数チャンネル成分は現れない。

【0025】図3～図5に本発明の実施の形態の構成を用いたシミュレーション結果を示す。波長間隔5GH

z、ビットレート5Gb/s、チャンネル数 $N=4$ とした。帯域利用効率 $\eta$ は1となる。非対称マッハツェンダ型干渉素子1-6の前(図3)、光ゲートスイッチ1-9<sub>1</sub>~1-9<sub>4</sub>のいずれか1つの前(図4)、および光ゲートスイッチ1-9<sub>1</sub>~1-9<sub>4</sub>のいずれか1つの後(図5)のアイダイアグラムを示す。光ゲートスイッチ1-9<sub>1</sub>~1-9<sub>4</sub>の後において十分にアイダイアグラムが開いていることがわかる。

【0026】したがって、本発明により帯域利用効率の良い波長多重光伝送方式が実現できる。

【0027】

【発明の効果】以上、説明したように本発明により、帯域利用効率の良い波長多重光伝送方式が実現できる。これにより、従来と同じ波長帯域幅で、より多くの波長数を有する波長多重伝送方式を実現でき、光通信の伝送容量の増大に貢献することができる。

【0028】また、帯域の狭い光伝送路は帯域の広い光伝送路に比べて安価に構築できるため、伝送路の構築コストが光伝送方式のコストの多くを占めるような光伝送方式においては、本発明によりコストの削減が可能となる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明による波長多重光伝送方式の一実施の形

態の構成を示すブロック図

【図2】図1の構成の動作を説明するための波形図

【図3】図1の構成によるシミュレーション結果を示すアイダイアグラム(非対称マッハツェンダ型干渉素子1-6の前)

【図4】図1の構成によるシミュレーション結果を示すアイダイアグラム(光ゲートスイッチ1-9<sub>1</sub>~1-9<sub>4</sub>のいずれか1つの前)

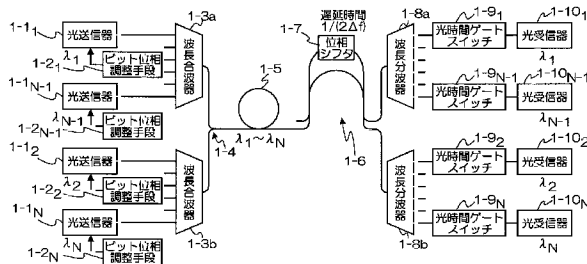
【図5】図1の構成によるシミュレーション結果を示すアイダイアグラム(光ゲートスイッチ1-9<sub>1</sub>~1-9<sub>4</sub>のいずれか1つの後)

【図6】従来の構成例を示すブロック図

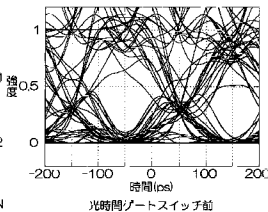
【符号の説明】

- 1-1<sub>1</sub>~1-1<sub>N</sub> 光送信器
- 1-2<sub>1</sub>~1-2<sub>N</sub> ビット位相調整手段
- 1-3a, 1-3b 波形合波器
- 1-4 1:1カップラ
- 1-5 光伝送媒体
- 1-6 非対称マッハツェンダ型干渉素子
- 1-7 位相シフタ
- 1-8 波長分波器
- 1-9<sub>1</sub>~1-9<sub>N</sub> 光時間ゲートスイッチ
- 1-10<sub>1</sub>~1-10<sub>N</sub> 光受信器

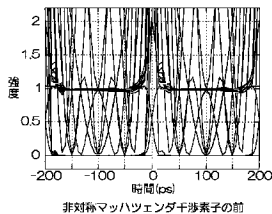
【図1】



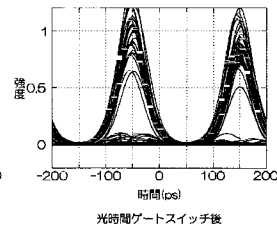
【図4】



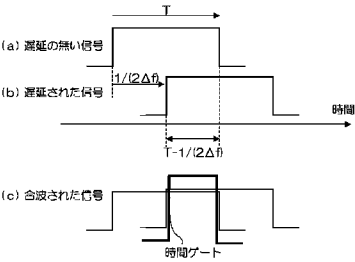
【図3】



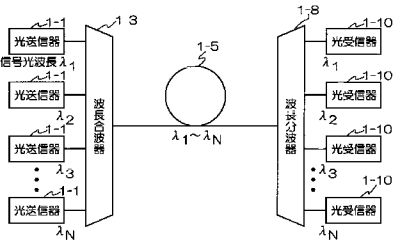
【図5】



【図2】



【図6】



フロントページの続き

(72)発明者 三条 広明  
東京都千代田区大手町二丁目3番1号 日  
本電信電話株式会社内

Fターム(参考) 2K002 AB18 DA07 DA08  
5K002 AA01 AA03 BA02 BA05 BA06  
CA14 DA02 DA05 FA01